

실험계획법을 이용한 SUV의 보행자 보호 시스템 설계

이 영 명¹⁾ · 최 원 석¹⁾ · 박 경 진²⁾

한양대학교 기계공학과¹⁾ · 한양대학교 기계공학과²⁾

Pedestrian Protection System Design for SUV Using the Design of Experiments

Youngmyung Lee¹⁾ · Wonseok Choe¹⁾ · Gyung-Jin Park²⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

(Received 4 May 2015 / Revised 18 August 2015 / Accepted 16 November 2015)

Abstract : The mortality rate of car-pedestrian accidents is quite high, compared to the frequency of accidents. Researches on pedestrian protection are being actively performed worldwide. The A-pillar and lower part of the wind shield cause the most serious damage to the pedestrians. Typical devices to protect the pedestrians are the hood lift system and pedestrian airbag. The design of such devices for an sport utility vehicle is performed based on a design process using design of experiments (DOE). The design results are obtained by an orthogonal array (OA), analysis of mean (ANOM) and analysis of variance (ANOVA). A metamodel is also used in the design process.

Key words : Pedestrian protection system(보행자 보호 시스템), Head injury criterion(머리상해지수), Pedestrian airbag(보행자 에어백), Design of experiments(실험계획법), Hood lift system(후드 리프트 시스템)

1. 서론

차량 관련사고 중 차대 보행자의 사고는 사망률이 매우 높다.¹⁾ 2008년 세계자동차기술 기준조화 포럼(Global Technical Regulation, GTR)²⁾을 공표하였으며, 대한민국을 포함한 유럽, 미국, 일본 등은 이를 준수해야 한다. 이에 따라 국내 신차안전도평가(Korea New Car Assessment Program, K-NCAP)³⁾ 및 유럽신차안전도평가(EURO New Car Assessment Program, EURO-NCAP)⁴⁾에 보행자 보호 부분을 추가 및 강화 하였다. 세계적으로 보행자 보호가 중요한 문제로 대두되고 있어, 보행자 보호 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁵⁻¹⁵⁾

차대 보행자 사고의 경우 보행자의 무릎 부분과 자동차의 범퍼에서 최초 충돌이 일어난다. 충돌 후 보행자의 몸이 하늘로 향하고 이어서 보행자의 머리가 자동차의 단단한 부분인 후드 양 끝단, 전면창 유리 하단 부, A필라 하단 부 영역에 직접적으로 충돌해 보행자의 생명에 치명적인 영향을 미친다. 보행자 보호 시스템 관련 연구는 이 단단한 부분들을 대상으로 설계를 수행한다.

기존 설계는 보행자가 직접 충돌하는 범퍼, 후드 등 자동차 전면구조물의 재질 변경 또는 구조물의 재설계를 통해 충분히 충격을 흡수할 수 있는 공간을 확보하였다. 이 방법은 재료 및 구조변경의 한계가 있을 뿐 아니라 자동차의 성능을 저하시킬 가능성이 있다.¹⁶⁾ 예를 들어 충격을 흡수할 충분한 공간을 확보하면 자동차의 공기저항계수가 높아져 연비와 출력에 좋지 않은 영향을 미치며, 재질을 변경하

* A part of this paper was presented at the KSAE 2014 Annual Conference and Exhibition

^{*}Corresponding author, E-mail: gjpark@hanyang.ac.kr

면 작은 충격에도 자동차 전면구조물의 변형으로 인해 부품을 교체해야 하는 단점이 있다. 특히 보행자와 직접적인 충돌을 하는 자동차의 범퍼, 후드, 전면창유리 하단 부 등 넓은 영역에서 보행자에게 가해지는 충격을 감소시켜 안전을 확보하는 것은 더욱 어렵다.

최근 효과적으로 보행자를 보호할 수 있는 방법으로 기계 시스템을 이용하여 보행자를 보호하는 시스템이 개발되었다. 보행자가 전면창유리 하단부와 A필라 하단 부 영역에 충돌할 경우를 대비하여 충격을 흡수하는 보행자 에어백⁵⁾과 순간적으로 후드를 들어 올려 후드 하단의 구조물과 추가적인 충돌을 방지하는 전개형 후드⁶⁾가 있다. 이 두 시스템을 보행자 보호 시스템이라고 한다.

국내·외 NCAP은 승용차 위주로 규정을 열거하고 있으며 다양한 차량의 특징을 반영한 보행자 보호 시스템에 대한 규정이 아직 포함되어 있지 않다. 윤용원 등⁵⁾은 승용차를 대상으로 보행자 보호 시스템 설계를 제안하였으나 다양한 차종에 대한 보행자 보호 시스템과 관련된 연구는 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 SUV (sport utility vehicle) 보행자 보호 시스템을 대상으로 보행자의 생명에 큰 영향을 미치는 머리상해지수(head injury criterion, HIC)를 최소화 할 수 있도록 실험계획법을 이용한 보행자 보호 시스템의 설계방법론을 제안한다. 보행자 보호 시스템의 실제 제작이 가능한 9가지 사양을 설계변수로 선정하고 제안한 설계방법론을 통해 산출한 보행자 보호 시스템과 기준 보행자 보호 시스템의 HIC를 비교하여 성능을 검증하였다. 설계방법론을 수행하기 위하여 비선형동적해석 상용소프트웨어 LS-DYNA¹⁷⁾와 설계 소프트웨어인 PIA¹⁸⁾를 사용하였다.

2. 보행자 보호 평가 방법

현재 K-NCAP은 EURO-NCAP의 평가방법과 많은 부분 유사하지만 어린이 머리모형과 성인 머리모형의 충격영역을 나누는 방법에 차이가 있다. EURO-NCAP은 횡단경계선(wrap around distance, WAD)을 어린이 머리모형은 1,000 mm ~ 1,500 mm로, 성인 머리모형은 1,500 mm ~ 2,100 mm로 규정하고

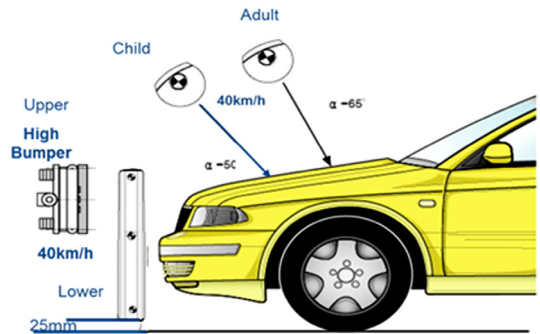


Fig. 1 K-NCAP test protocol

있다. K-NCAP의 경우 어린이 머리모형은 1,000 mm ~ 1,700 mm, 성인 머리모형은 1,700 mm ~ 2,100 mm로 경계를 나누고 있다. 그 이유는 K-NCAP의 경우 전 세계 공통으로 적용하는 GTR No.9의 내용을 반영하여 어린이 머리모형과 성인 머리모형의 충격영역을 나누고 있기 때문이다. 충돌조건은 Fig. 1과 같으며, 충격각도는 지면과 65°를 이루며 충격속도는 40 km/h이다.

HIC는 시간 t 와 가속도 a 로 이루어진 식 (1)로 산출한다.

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

NCAP은 HIC15를 사용하며 15는 시간 간격 $t_2 - t_1$ 의 값이기도 하다. 가속도 a 는 머리모형의 중심에 설치한 3축 가속도계로부터 얻은 가속도의 합성가속도 값이다.

3. 전산 시뮬레이션

본 연구는 Fig. 2(c)의 현대자동차의 SUV 유한요소 모델을 사용한다. 요소 수는 239,385개이며 총 질량은 542.4 kg이다. 머리모형은 GTR의 표준 성인 머리모형으로 무게는 4.5 kg, 총 13,143개의 요소로 구성한다. 성인 머리모형은 Fig. 3과 같이 엔드플레이트(end-plate), 스피어(sphere), 스킨(skin), 널셸(null shell)로 구성한다. 가속도계를 엔드플레이트의 끝에 설치하여 HIC를 산출한다.

후드 리프트 시스템은 힌지와 액추에이터로 구성하며 Fig. 2처럼 후드 양 끝단에 설치한다. 후드 리프트

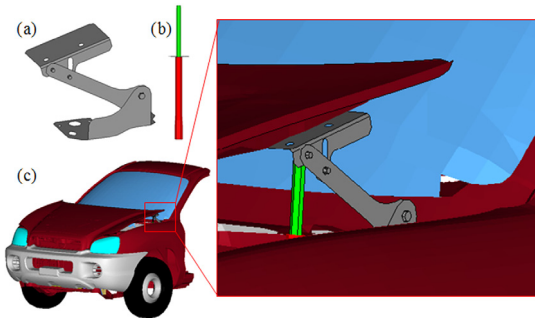


Fig. 2 Finite element model (a) Dual hinge (b) Actuator (c) SUV

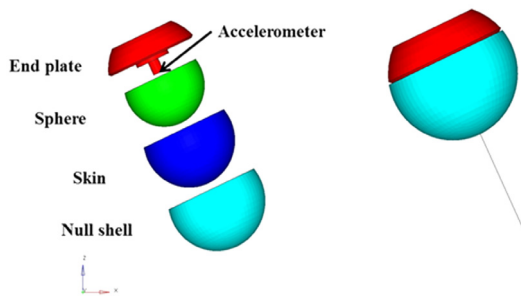


Fig. 3 Finite element model of an adult headform

트 시스템은 후드를 들어 올려 충격을 흡수할 뿐만 아니라 보행자 에어백이 전개될 공간을 확보하는 역할을 한다. 후드 리프트 시스템은 크게 화약폭발식⁶⁾과 스프링식¹⁹⁾으로 분류하며 보행자가 자동차와 충돌할 경우, 액추에이터 내의 화약을 폭발 시키거나 스프링을 이용하여 순간적으로 후드를 들어 올린다. 스프링식은 화약폭발식과 비교하여 후드의 전개속도가 느리며 장시간 스프링이 눌린 상태로 보관하기 때문에 사고가 발생할 경우 정상 작동의 신뢰성이 문제가 된다. 따라서 많은 제조사들은 화약폭발식을 사용하고 있다. 본 연구에 사용한 후드 리프트 시스템 역시 화약폭발식이며, 후드 리프트 시스템이 전개한 후 잔류압력을 스프링요소로 모사하였다. 후드의 전개높이를 135 mm, 스프링상수는 0.002 N/m이다.

보행자 에어백은 제작사인 오토리브와 협업을 통해 실제 제작된 모델과 동일한 성능의 유한요소 모델을 생성했다. 해석의 신뢰도를 높이기 위해 자동차안전연구원에서 실시한 실차평가시험을 바탕으로 설계기준 모델의 머리상해지수의 최대 10% 이내

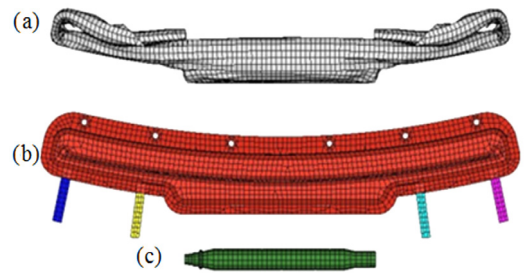


Fig. 4 Pedestrian airbag (a) Cushion (b) Housing (c) Inflator

가 되도록 시뮬레이션을 구성하였다.

보행자 에어백은 Fig. 4와 같이 쿠션(cushion), 인플레이터(inflator), 하우징(housing)으로 구성한다. 총 질량은 6.019 kg이며 요소 수는 30,581개이다. 쿠션과 인플레이터는 하우징 내부에 위치하며 후드 아래에 장착한다. 플라스틱 재료로 만든 하우징은 후드의 안쪽에 설치하기 때문에 엔진 열에 의해 변형되지 않고, 잘 녹지 않는 재질의 플라스틱으로 제작한다. 인플레이터는 화약을 폭발시켜, 순간적으로 쿠션을 부풀리는 역할을 하며 압력은 60 L기준 500 kPa이다.

머리모형 충격해석을 수행하기 위하여 보행자 안전 취약부위인 A필라 영역부터 창유리 하단에 걸쳐 총 6개의 충격지점을 Fig. 5와 같이 선정하였다. 이 6지점의 HIC값은 직교배열표의 반응장으로 사용한다.

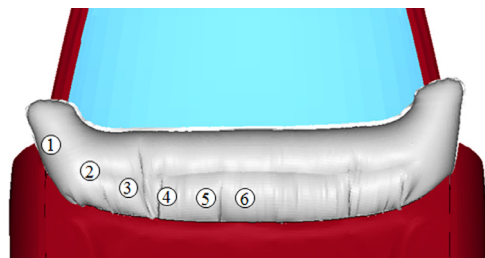


Fig. 5 Headform impact points

4. 실험계획법을 이용한 설계방법론

본 연구에서는 운용원이 제시한 보행자 보호 시스템의 최적설계 설계방법론을 수정하여 새로운 설계방법론을 제시한다. 설계 단계는 크게 2단계로 구성하며 이산공간에서의 설계와 연속공간에서의 설

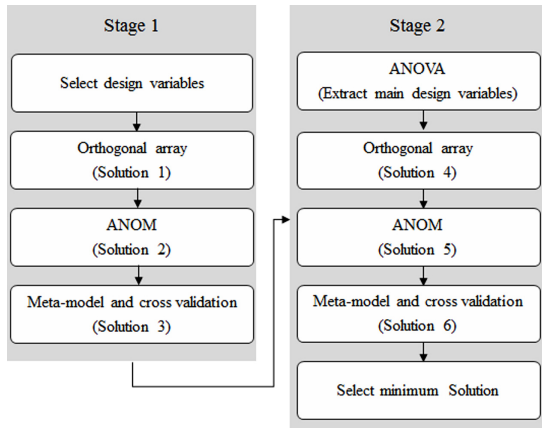


Fig. 6 Flow chart of the pedestrian protection system design

계를 단계별로 실시한다. Fig. 6에 설계방법론을 간단히 도식화 하여 나타내었다.

1단계에서는 실제 제작가능하며 시뮬레이션으로 변경이 가능한 설계변수를 정의한다. 설계변수의 수준 수를 결정하여 직교배열표를 구성해 시뮬레이션을 실시하여 가장 낮은 HIC를 나타내는 조합을 솔루션 1로 선정한다. 직교배열표를 사용해 평균분석(ANOM)을 실시하여 두 번째 솔루션 2로 선정한다. 1단계의 마지막으로 근사모형을 사용하여 연속공간에서의 최적설계를 수행한다. 근사모형은 방사상기반함수(radial basis function, RBF)와 크리깅법(Kriging)을 사용해 회귀모델(regression model)과 보간모델(interpolation model)을 대상으로 총 4가지 근사모형을 생성한다.

본 연구에서는 앞서 생성한 4가지 근사모형을 교차검증(cross-validation)으로 서로의 상대적인 정확도를 비교하여 가장 정확도가 높은 근사모형을 선택하여 사용한다. 교차검증으로 선택한 근사모형을 사용하여 유전자 알고리즘(micro genetic algorithm, MGA)과 진화 알고리즘(evolutionary algorithm, EA)을 사용하여 최적해를 산출하며 최적 값이 다를 경우 확인실험을 통해 더 낮은 HIC를 산출하는 값을 솔루션 3으로 선정한다.

2단계는 1단계의 직교배열표를 사용해 분산분석(ANOVA)을 수행하여 HIC에 영향을 주는 주요 설계변수를 대상으로 다시 1단계에서 수행한 과정을 반복한다.

4.1 설계정식화

앞서 언급한 것처럼 제작 가능한 설계 변수로 에어백의 원단 두께(thickness), 인플레이터 압력(pressure), 에어백에 압력이 가해지는 시간(injection time), 질량유량(mass flow rate), 원단의 밀도(density), 후드 리프트 높이(hood lift height), 에어백 테더의 높이(tether height), 에어백 장축 길이(shape X), 에어백 단축길이(shape Y) 총 9개를 선정하였으며 HIC 값을 최소화 하는 것을 목적함수로 하였다. Table 1에서처럼 설계변수는 3수준으로 정규화 하여 나타냈으며 수준 2는 기준 모델이며 근사모형을 사용한 최적 설계에서는 수준 1과 수준 3의 값이 설계의 상한과 하한으로 사용한다.

Table 1 Design variables and levels for the pedestrian protection system

Parameter		Level 1	Level 2	Level 3
Thickness	x_1	0.90	1.0	1.10
Pressure	x_2	0.85	1.0	1.15
Injection time	x_3	0.80	1.0	1.20
Mass flow rate	x_4	0.80	1.0	1.20
Density	x_5	0.75	1.0	1.25
Hood lift height	x_6	0.90	1.0	1.10
Tether height	x_7	0.80	1.0	1.20
Shape X	x_8	0.90	1.0	1.10
Shape Y	x_9	0.90	1.0	1.10

4.2 설계방법론 적용

단계 1에서는 9개의 설계변수 3수준으로 Table 2에 L_{27} 직교배열표를 구성해 P1부터 P6중 머리상해 지수가 가장 높은 값을 HIC열에 배치한다. 시뮬레이션에서 보행자 에어백이 정상적으로 전개가 되지 않는 경우가 있기 때문에 벌칙함수를 사용하여 비정상 전개를 배제한다. 전개가 불량인 경우 전개(deployment)는 1이며 HIC에 5,000을 더하여 매우 큰 HIC를 나타낸다. 직교배열표의 21번째 실험에서 가장 낮은 HIC를 나타냈으며 솔루션 1로 정의한다.

솔루션 2는 평균분석을 통해 찾은 설계변수들의 최적조합으로 9개의 설계변수를 같은 수준에 따라 목적함수 HIC를 모두 더하고 평균을 낸다. 평균분석을 통해 얻은 머리상해지수는 Table 3에 보여주며 솔루션 2로 정의한다. 본 연구에서 제안한 설계과정은 직교배열표를 이용하여 평균분석을 진행하였다.

Table 2 Orthogonal array L₂₇

Case	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Deployment	HIC
1	0.90	0.85	0.80	0.80	0.75	0.90	0.80	0.90	0.90	0	0	180	0	0	726	1	5726
2	0.90	0.85	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	183	0	3201	1965	2030	2541	1	8201
3	0.90	0.85	0.80	0.80	1.25	1.10	1.20	1.10	1.10	0	926	2605	881	357	1210	1	7605
4	0.90	1.00	1.00	1.00	0.75	0.90	0.80	1.00	1.00	136	547	491	604	655	568	0	655
5	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	273	487	810	871	853	832	0	871
6	0.90	1.00	1.00	1.00	1.25	1.10	1.20	0.90	0.90	104	446	554	714	547	617	0	714
7	0.90	1.15	1.20	1.20	0.75	0.90	0.80	1.10	1.10	180	734	1066	570	1113	265	0	1113
8	0.90	1.15	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	712	928	1223	1266	1239	1144	0	1266
9	0.90	1.15	1.20	1.20	1.25	1.10	1.20	1.00	1.00	841	889	1244	976	797	847	0	1244
10	1.00	0.85	1.00	1.20	0.75	1.00	1.20	0.90	1.00	188	312	395	824	718	539	0	824
11	1.00	0.85	1.00	1.20	1.00	1.10	0.80	1.00	1.10	166	572	578	660	657	512	0	660
12	1.00	0.85	1.00	1.20	1.25	0.90	1.00	1.10	0.90	283	279	435	440	625	595	0	625
13	1.00	1.00	1.20	0.80	0.75	1.00	1.20	1.00	1.10	0	176	0	621	0	448	1	5621
14	1.00	1.00	1.20	0.80	1.00	1.10	0.80	1.10	0.90	128	475	505	503	668	559	0	668
15	1.00	1.00	1.20	0.80	1.25	0.90	1.00	0.90	1.00	104	333	304	575	608	639	0	639
16	1.00	1.15	0.80	1.00	0.75	1.00	1.20	1.10	0.90	1904	1370	478	429	562	464	0	1904
17	1.00	1.15	0.80	1.00	1.00	1.10	0.80	0.90	1.00	147	237	656	507	529	514	0	656
18	1.00	1.15	0.80	1.00	1.25	0.90	1.00	1.00	1.10	2212	1197	1107	1314	1212	846	0	2212
19	1.10	0.85	1.20	1.00	0.75	1.10	1.00	0.90	1.10	122	640	795	910	992	864	0	992
20	1.10	0.85	1.20	1.00	1.00	0.90	1.20	1.00	0.90	232	434	663	820	704	632	0	820
21	1.10	0.85	1.20	1.00	1.25	1.00	0.80	1.10	1.00	225	301	551	360	415	528	0	551
22	1.10	1.00	0.80	1.20	0.75	1.10	1.00	1.00	0.90	211	180	376	692	563	713	0	713
23	1.10	1.00	0.80	1.20	1.00	0.90	1.20	1.10	1.00	228	519	275	964	465	458	0	964
24	1.10	1.00	0.80	1.20	1.25	1.00	0.80	0.90	1.10	982	252	338	414	493	458	0	982
25	1.10	1.15	1.00	0.80	0.75	1.10	1.00	1.10	1.00	252	330	638	580	616	489	0	638
26	1.10	1.15	1.00	0.80	1.00	0.90	1.20	0.90	1.10	0	0	0	108	204	105	1	5204
27	1.10	1.15	1.00	0.80	1.25	1.00	0.80	1.00	0.90	0	0	1858	1124	883	2088	1	7088

Table 3 ANOM from the results of Table 2

	Lv1	Lv2	Lv3	Result
x ₁	3043.86	1534.36	1994.52	1.00
x ₂	2889.27	1314.02	2369.44	1.00
x ₃	3218.04	1919.77	1434.92	1.20
x ₄	4598.9	1041.66	932.18	1.20
x ₅	2020.61	2145.57	2406.56	0.75
x ₆	1995.28	3034.20	1543.26	1.10
x ₇	2010.92	1795.21	2766.6	1.00
x ₈	1889.19	3023.83	1659.71	1.10
x ₉	2169.21	1596.79	2806.73	1.00
P1	507.0			
P2	546.1			
P3	908.5			
P4	863.9			
P5	1085.0			
P6	990.8			
Solution 2	1085.0			

솔루션 1과 솔루션 2는 이산공간에서 산출된 값이다. 솔루션 3은 연속공간에서 근사모델을 구성하고 이 근사모델을 사용하여 최적설계 알고리즘을 적용한다. 근사모델은 1단계의 직교배열표를 사용한다. 총 4개의 근사모델에서 교차검증을 실시하여 상대적으로 오차가 가장 낮은 모델을 선택하여 EA와 MGA를 수행한다. 교차검증의 결과는 Table 4에 나타냈다. Table 5는 EA와 MGA를 사용한 설계 결과를 보여준다. 두 최적해의 값이 다르기 때문에 확인실험을 수행하여 더 낮은 HIC 값을 나타내는 해를 최적해로 선정하고 솔루션 3이라고 한다.

2단계에서는 1단계의 직교배열표로 분산분석을 실시한다. Fig. 7에서처럼 각 변수마다 영향도를 백분율로 나타냈다. HIC에 영향을 미치는 상위 4개의 변수 mass flow rate(41.0 %), injection time(18.1 %),

Table 4 Results of cross-validation in stage 1

		Error
Interpolation model	Kriging	5838.6
	RBF	13603.1
Regression model	Polynomial	13332.9
	RBF	13435.0

Table 5 Optimization results of Kriging model (L₂₇)

	Kriging MGA	Kriging EA
x ₁	1.04	1.03
x ₂	1.00	1.02
x ₃	1.20	1.20
x ₄	1.10	1.07
x ₅	0.75	0.75
x ₆	1.10	1.10
x ₇	1.04	1.03
x ₈	1.10	1.10
x ₉	0.98	0.99
P1	502.2	406.1
P2	792.3	617.4
P3	713.7	921.8
P4	885.7	765.5
P5	885.2	736.4
P6	845.2	818.2
HIC _{Max.}	885.7	921.8

Table 6 Orthogonal array L₁₈

Case	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Deployment	HIC
1	0.9	0.9	0.8	0.8	5000	0	0	0	0	0	1	5000
2	1.0	1.0	1.0	1.0	272	834	440	377	444	518	0	834
3	1.1	1.2	1.2	1.2	5000	0	0	0	0	0	1	5000
4	0.9	0.9	1.0	1.2	364	303	396	495	513	656	0	656
5	1.0	1.0	1.2	0.8	339	427	592	625	495	392	0	625
6	1.1	1.2	0.8	1.0	1067	1098	1170	573	752	582	0	1170
7	0.9	1.0	0.8	1.2	338	441	977	501	1017	436	0	1017
8	1.0	1.2	1.0	0.8	418	979	503	561	431	827	0	979
9	1.1	0.9	1.2	1.0	270	312	301	409	644	448	0	644
10	0.9	1.2	1.2	0.8	201	297	717	356	473	519	0	717
11	1.0	0.9	0.8	1.0	2659	1973	2506	2631	1615	2191	0	2659
12	1.1	1.0	1.0	1.2	344	617	251	495	445	565	0	617
13	0.9	1.0	1.2	1.0	400	619	647	604	663	834	0	834
14	1.0	1.2	0.8	1.2	536	332	547	741	388	710	0	741
15	1.1	0.9	1.0	0.8	5000	0	0	0	0	0	1	5000
16	0.9	1.2	1.0	1.0	445	544	676	404	619	637	0	676
17	1.0	0.9	1.2	1.2	397	528	684	445	692	449	0	692
18	1.1	1.0	0.8	0.8	5000	0	0	0	0	0	1	5000

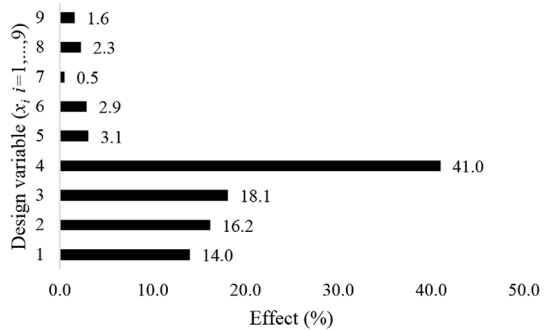


Fig. 7 ANOVA from the results of Table 2

pressure(18.1 %), thickness(14.0 %)를 대상으로 직교배열표로 구성하여 1단계에서 수행한 설계과정을 반복한다. 2단계의 주요설계변수 이외의 설계변수는 1단계의 솔루션 1의 수준 수를 따른다. HIC에 주요하게 영향을 미치는 변수 4개로 Table 6처럼 L₁₈ 직교배열표를 구성하고 HIC가 가장 낮은 12번째 실험을 솔루션 4라고 정의한다.

솔루션 5는 솔루션 2의 방법과 동일하게 평균분석을 사용하여 산출한다. 2단계의 L₁₈ 직교배열표를 사용해서 Table 7에 평균분석 결과를 나타냈다. HIC는 734.9 이며 솔루션 5라고 정의한다.

L₁₈을 사용해 근사모형을 생성 후 교차검증을 실

Table 7 ANOM from the results of Table 6

	Lv1	Lv2	Lv3	Result
x_1	1483.37	1088.30	2905.21	1.0
x_2	2441.99	1487.70	1547.20	1.0
x_3	2597.83	1460.28	1418.77	1.2
x_4	2886.85	1136.10	1453.93	1.0
P1	571.0			
P2	587.0			
P3	734.9			
P4	651.9			
P5	550.5			
P6	633.0			
Solution 5	734.9			

Table 8 Results of cross-validation in stage 2

		Error
Interpolation model	Kriging	4724.6
	RBF	4746.9
Regression model	Polynomial	4753.1
	RBF	5166.5

Table 9 Optimization results of Kriging model (L_{18})

	Kriging MGA	Kriging EA
x_1	0.90	0.90
x_2	0.85	0.85
x_3	1.20	1.20
x_4	0.95	0.95
P1	278.8	
P2	415	
P3	451.9	
P4	383.5	
P5	378.5	
P6	528.1	
HIC _{Max.}	528.1	

시하여 Table 8에 나타냈다. 1단계와 동일하게 Kriging 모델에서 가장 낮은 오차가 발생한다. 이 근사모델을 사용해 EA와 MGA를 사용하여 최적설계를 수행한다. 두 알고리즘의 최적해는 동일하게 산출하였으며 이 HIC를 솔루션 6이라고 정의한다. 이 결과는 Table 9에 나타낸다.

두 단계에 걸쳐 수행한 설계방법론의 결과는 총 6개의 솔루션을 구성한다. 2단계의 솔루션 6의 HIC가 가장 낮기 때문에 최종해로 선정한다. 원단의 두께는 얇아졌으며, 에어백 압력이 낮아지므로 인플

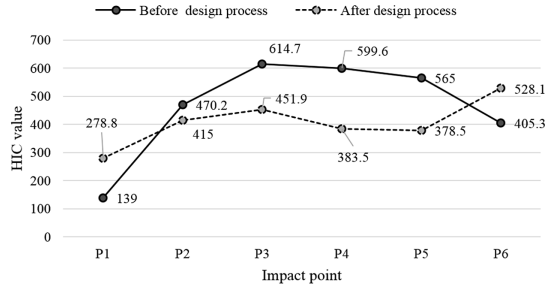


Fig. 8 Final results

레이터의 용량은 작아졌다. 에어백에 가스를 주입하는 시기가 느려지고, 질량유량은 감소하였으며, 원단의 밀도는 증가하였다. 후드를 들어 올리는 높이는 변화가 없었으며, 테더의 높이가 최대 감소하여 부풀었을 때의 에어백의 총 두께가 감소하였다. 에어백의 모양은 장축방향 즉 양옆으로 10% 증가하였다.

Fig. 8은 설계방법론 전후의 HIC를 비교해서 나타냈다. 기준 모델은 수준 2의 값으로 시뮬레이션을 수행하였다. HIC 지수가 P1과 P6에서 증가하였지만 HIC가 가장 높았던 P3에서 감소한 결과를 도출하였다.

5. 결론

본 연구는 SUV차량의 보행자보호를 위한 보행자 보호 시스템 설계를 수행하였다. 시스템을 구성하는 총 9개의 설계변수를 선정하여 실험계획법을 이용한 설계방법론을 제안하였다. 제안한 방법론은 2단계로 구성하였으며 만약 1단계에서 설계자가 만족할 만한 결과가 도출된다면 2단계를 진행하지 않아도 무방하다. 하지만 HIC처럼 비선형성이 크고 설계변수들 간의 교호작용이 큰 특징을 갖는 설계의 경우 2단계에서 가장 좋은 설계가 도출될 수 있다.

제안한 설계과정으로 에어백의 원단은 얇아지고 머리모형의 충격을 충분히 흡수한 만큼 에어백의 압력이 낮아져 폭신하게 바뀌었다. 또한 에어백이 전개가 완료되어 안정화되기 위해 질량유량이 소폭 낮아졌다.

설계에 필요한 조건은 K-NCAP의 보행자 평가방법에 의거하여 진행하였다. 하지만 보행자 에어백

의 경우 관련된 규정과 평가방법이 부족한 실정이다. 향후 보행자 에어백에 대한 규정이 확실히 정립되고 난 후, 평가방법에 맞도록 다시 이와 같은 연구가 필요할 것이다.

보행자 에어백은 보행자의 생명에 치명적인 영향을 미치는 전면충유리 하단 부와 A필라에 걸쳐 넓은 영역의 충격을 흡수하는 장점을 갖고 있지만, 사고가 발생할 경우 운전자의 시야를 방해하여 2차 사고를 야기시킬 수 있는 단점이 존재한다. 따라서 향후 기술의 발전과 활발한 연구로 이를 보완하면 많은 제조사에서 이를 채택하여 사용하게 될 것이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 연구비지원(12PTSI-C054118-04)으로 수행된 연구임.

References

- 1) Road Traffic Authority, Traffic Accident Statistical Analysis, 2013.
- 2) United Nations, Global Technical Regulation No.9, Pedestrian Safety, <http://unece.org/trans/wp29/180a92>, 2014.
- 3) Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, Korea New Car Assessment Program, <http://www.car.go.kr/jsp/kncap/introduction>, 2014.
- 4) EURO New Car Assessment Program, Pedestrian Test Protocol V7.1.1, <http://www.euroncap.com/technical/protocols.aspx>, 2013.
- 5) Y. W. Yun and G. J. Park, "An Optimal Design of a Pedestrian Safety System Using a Design Scenario," Transactions of KSME, Vol.38, No.9, pp.1019-1027, 2014.
- 6) M. K. Shin, K. T. Park, K. B. Lee, H. I. Bae, and G. J. Park, "Design of the Active Hood Lift System Using Orthogonal Arrays," Transactions of KSAE, Vol.14, No.4, pp.123-131, 2006.
- 7) K. Clemo and R. Davies, "The Practicalities of Pedestrian Protection," The 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 98-S10-P-16, 1998.
- 8) S. Yoshida, N. Igarashi, A. Takahashi and I. Imaizumi, "Development of a Vehicle Structure with Protective Features for Pedestrians," International Congress & Exposition, 1999-01-0075, Detroit, USA, 1999.
- 9) G. Belingardi, A. Scattina and E. Gobetto, "Development of an Hybrid Hood to Improve Pedestrian Safety in Case of Vehicle Impact," 21th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 09-0026, 2009.
- 10) Y. E. Jeon, H. I. Moon, Y. S. Kim and H. Y. Kim, "Crumple Zone Design and Upper Leg-form Impactor Analysis for Pedestrian Protection," Transactions of KSAE, Vol.20, No.3, pp.126-132, 2012.
- 11) J. W. Lee, K. H. Yoon, Y. S. Kang, K. T. Park and G. J. Park, "Hood and Bumper Structure Design Methodology for Pedestrian Regulation," Transactions of KASE, Vol.13, No.3, pp.162-170, 2005.
- 12) T. L. Teng and V. L. Ngo, "Optimization of Bonnet Thickness with Respect to Pedestrian Safety," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D : Journal of Automobile Engineering, Vol.224, No.12, pp.1513-1526, 2010.
- 13) Q. Liu, Y. Xia and Q. Zhou, "Design Analysis of a Sandwich Hood Structure for Pedestrian Protection," The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, pp.15-18, 2009.
- 14) K. B. Lee, H. J. Jung and H. I. Bae, "The Study on Developing Active Hood Lift System for Decreasing Pedestrian Head Injury," The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, pp.18-21, 2007.
- 15) K. Nagatomi, K. Hanayama, T. Ishizaki, S. Sasaki and K. Matsuda, "Development and Full-scale Dummy Tests of a Pop-up Hood System for Pedestrian Protection," The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, pp.6-9, 2005.
- 16) W. Choe, Y. Lee and G. J. Park, "Pedestrian Protection System Design for SUV Using the Design of Experiment," KSAE Annual Con-

- ference Proceedings, pp.955-956, 2014.
- 17) LS-DYNA Keyword User's Manual, Livermore, California : Livermore Software Technology Corporation, USA, 2012.
- 18) PIAO User's Manual, PIDOTECH Inc., Korea, 2014.
- 19) I. Hwang, K. H. Kim and T. G. Yang, "A Development of Active Hood System to Lift All Corners," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.2025-2031, 2011.